



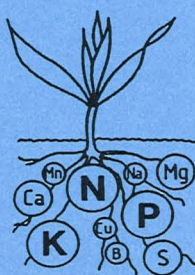
Nya metoder för återcirkulation av växtnäringsämnen från avfall

**Föredrag hållna på Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
3 mars 2005**

New Methods for Recirculation of Plant Nutrients from Wastes

**Lectures held on 3 March 2005 at the Royal Swedish
Academy of Agriculture and Forestry**

Red./ed. Käll Carlgren & Holger Kirchmann



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 211
Report**

**Uppsala 2005
ISSN 0348-3541
ISRN SLU-VNL-R-211-SE**



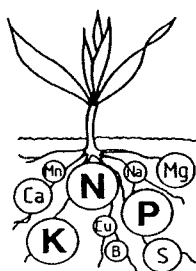
Nya metoder för återcirkulation av växtnäringsämnen från avfall

**Föredrag hållna på Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
3 mars 2005**

New Methods for Recirculation of Plant Nutrients from Wastes

**Lectures held on 3 March 2005 at the Royal Swedish
Academy of Agriculture and Forestry**

Red./ed. Käll Carlgren & Holger Kirchmann



**Institutionen för markvetenskap
Avd. för växtnäringslära**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Dept. of Soil Sciences
Division of Soil Fertility**

**Rapport 211
Report**

**Uppsala 2005
ISSN 0348-3541
ISRN SLU-VNL-R-211-SE**

Innehållsförteckning

Abstract	4
Sammanfattning	5
Recirkulation av avfall i olika kulturer Holger kirchmann	6
Olika sätt att utvinna fosfor ur avloppsvatten Yariv Cohen	10
Återvinning av P samt andra ämnen ur olika askor efter upplösning Mats Ek	14
Biogasjäsning av slakteriavfall och rester från etanoltillverkning Jörgen Ejlerthsson	18
Biogasjäsning av växtbiomassa och hushållsavfall Carl-Magnus Pettersson	20
Rötat källsorterat matavfall som gödselmedel i spannmålsproduktion Eva Salomon, Helena Åkerhielm & Anna Richert Stintzing	24
Synpunkter på olika biogassystem Åke Nordberg	27
Läget inom kompostering Ylva Eklind	30

Abstract

The aim of this seminar was to high-lighten methods being developed to recover plant nutrients from organic wastes and to present methods applied in society to improve recirculation of plant nutrients.

Historically, recirculation of plant nutrients has been limited with the exception of certain Asian cultures. Even today, organic wastes are only partially recycled. In future, dissolved plant nutrients present in wastes can be recycled as inorganic fertilizers.

Pros and cons of different recovery methods for P from wastewater are discussed. A new method to extract dissolved anions from liquid wastes through ion exchange was presented.

To dissolve P in ash, alkaline or acid solutions can be used depending on whether the ash originated from combustion at high or low temperature. Using an alkaline solution to ash from high combustion temperature resulted in less dissolution of heavy metals. Dissolved phosphorus could be precipitated as sodium phosphate.

Biogas digestion of slaughter house wastes and of residues from ethanol production mixed with cereals was tested at a plant in Linköping. Nitrogen contents in the dewatered biogas residues were higher than in animal slurries while phosphorus and nitrogen contents were lower.

Silage of grass and clover mixed with source separated organic household wastes will be digested at a new biogas plant in Västerås. The biogas residues will be separated into two fractions with ca 30 and 2-3% dry matter content and returned to cropland in the vicinity of Västerås.

The fertilizer effect of biogas digested food wastes was tested in a field trial over 5 years. After digestion, the material was dewatered and two fractions were used as fertilizers. The fraction with a higher dry matter content resulted in lower yields. Cereal yields amounted to 72-105% as compared to yields obtained with inorganic fertilizer.

Different strategies for mixed digestion of animal slurries together with other organic wastes from the society were discussed.

The state-of-the-art concerning composting of source separated household- and park wastes in Sweden was presented.

Sammanfattning

Målsättningen med detta seminarier var dels att belysa vilka metoder som utvecklas för att återvinna växtnäringssämnen ur organiskt avfall och dels vilka tekniker som tillämpas i samhället för att förbättra recirkulationen av växtnäring.

Recirkulationen av växtnäringssämnen i olika tidsåldrar har, med undantag av vissa asiatiska kulturer, varit begränsade. Även i dagens samhälle återcirkuleras organiskt avfall enbart delvis. Lösta växtnäringssämnen i samhällets organiska avfall kan i framtiden recirkuleras som oorganiska gödselmedel.

För- och nackdelar med olika metoder för återvinning av fosfor ur avloppsvatten diskuterades. En ny metod för att utvinna lösta anjoner ur avloppsvatten med hjälp av jonbytare presenterades.

Om man skall använda lut eller syra för att lösa upp fosfor i aska beror på förbränningstemperaturen. Vid användningen av lut löstes mindre tungmetaller upp ur aska från förbränning vid hög temperatur. Fosfor kunde därefter utvinnas som natriumfosfater.

Biogasjäsning av såväl slakteriavfall som av drank blandad med spannmål i Linköping har visat sig fungera. Kvävehalterna i avvattnade rötresten var högre än i flytgödsel medan fosfor och kaliumhalterna var något lägre.

Vallgrödor blandade med källsorterat organiskt hushållsavfall skall jäsas i en ny rötningsanläggning i Västerås. Rötresten skall separeras i två fraktioner med 30 resp 2-3% torrsustanshalt och återföras till odlingsmark i omgivningen av Västerås.

Gödselverkan av rötat källsorterat matavfall undersöktes i ett femårigt fältförsök. Materialet avvattnades och två fraktioner erhöles. Kärnsörden efter gödsling med rötat matavfall motsvarade 72 till 105% jämfört med skörden från handelsgödsel (100%).

Olika strategier för samrötning av djurgödsel med annat organiskt avfall i samhälle diskuterades.

Läget vad gäller kompostering av källsorterat organiskt hushålls- och parkavfall i Sverige presenterades.

Recirkulation av avfall i olika kulturer

Holger Kirchmann, SLU, Institutionen för Markvetenskap, Box 7014, 750 07 Uppsala.
E-post: holger.kirchmann@mv.slu.se

Inledning

Människans förändrade levnadssätt från jägare eller nomad till att bli permanent bosatt fodrade också att människans avfall beaktades och hanterades mer planerligt. I denna översikt beskrivs kort hur avfall hanterades i olika kulturer och hur fullständig växtnäringrecirkulationen tillbaka till odlingsmarken kan ha varit.

Kort beskrivning av behandlingen av hushålls- och toalettavfall i tidigare kulturer

Vattentransport av toalettavfall utvecklades så tidigt som 3000 f. Kr. Utgrävningar från Harappa- och Induskulturen längs floden Indus (Pakistan) visar att husen hade både badrum och vattentoaletter (Glover & Ray, 1994). Toaletterna liknar våra toalettstolar men var byggda av sten, spolades förmodligen manuell och utloppet mynnade ut i en avloppskanal. Avloppsvattnet från husen leddes i kanaler byggda och täckta av tegelsten längs gatorna.

Även i den minoiska kulturen på Kreta (2000-1500 f. Kr.) fanns vattentoaletter vars utlopp var kopplade till kanaler (Joyner, 1995). Runda stenkädda gropar av 5 meter i diameter, som har påvisats vid Knossos, kan ha använts för djupbäddkompostering av fast organiskt avfall.

I den grekiska och romerska kulturen var stadsplanering, vattenförsörjning, avloppsvattenhantering och avfallsbehandling väl utvecklade samhällstjänster. I Aten till exempel infiltrerades avloppsvatten från toaletter, bad och kök i mark utanför staden (omkring 500 f. Kr.), (White-Hunt, 1980). I Rom utgjorde avloppskanalen 'Cloaca maxima' ett stort byggnadsverk i vilken regnvatten och avloppsvatten samt vatten från gatuspolning transporterades bort från staden. Detta vatten infiltrerades eller leddes sedan till en recipient (Dersin, 1997). Materialet som samlades i kanaler togs tillvara som gödselmedel och kallades det 'svarta guld'.

En omfattande hantering av organiskt avfall utan inblanding av vatten har förekommit i Kina, Korea och Japan. Detta har beskrivits av King (1911).

Urin, fekalier och andra organiska avfallsämnen samlades in som skilda produkter i mycket stor omfattning. Via bärandet av hinkar, kärror som drogs av människor eller djur samt båtar transporterades avfallet tillbaka till odlingsmarken. Urin lagrades, fekalier torkades och fast avfall, aska, bottensediment och dikesrens komposterades innan materialen användes. Avfallsrecirkulationen måste anses vara fullständig i dessa kulturer eftersom både det fasta avfallet och det vattenlösliga återvanns.

Medeltiden var en tid då standarden på hygien försämrades kraftigt och sanitära åtgärder åsidosattes i städer. Bortförseln av avfall var oorganiserad. Hästgödsel och toalettavfall hopades sig på gator. Kanaler och diken överfylldes av avfall och vattendragen blev kraftigt förorenade (White-Hunt, 1980). Avfall kunde lagras i källare, i gränder mellan husen med toaletter placerade som ett burspråk längre upp på väggen (smala gränder i medeltida städer är ett resultat av dåtidens avfallshantering) och intervallen mellan borttransporterna var långa. Som konsekvens av denna mycket bristfälliga avfallshantering fanns en mycket låg hygiensk standard i städerna och många smittsamma sjukdomar kunde sprida sig i stor omfattning i dåtidens Europa. Viessman och Hammer (1992) skriver att ingen utveckling skedde vad gäller hantering av avfall och avlopp från Romarikets fall fram till början av 1800-talet. Vad gäller Stockholm, så startade en organiserad insamling och transport av stadens organiska avfall till jordbruket i början av 1800-talet (Tingsted, 1911). I mitten av 1800-talet infördes dock vattentoaletter i Stockholm liksom i många andra Europeiska städer och följden var en drastisk förorening av vattendragen.

För att få bukt med föroreningar i vattendragen via avloppsvatten utvecklades sedan under 1900-talet först enkla reningssteg såsom partikelsedimentation i dammar som sedan kompletterades med beluftning av vattnet för att minska andelen syreförbrukande ämnen och slutligen behandling i effektiva reningsverk som både avskiljer fosfor och reducerar avloppsvattnets kväveinnehåll. Även behandlingen av hushållens matavfall har genomgått en drastisk förändring. Från att under 1800-talet ha sorterats och använts som grisfoder efter kokning, har det samlats in tillsammans med annat fast avfall för deponering eller förbränning under 1900-talet, för att åter sorteras och användas för kompostering eller rötning sedan slutet av 1900-talet.

Lärdomar av den historiska beskrivningen - Olika grader på recirkulation

*Kulturer utan organiserad avfallshantering och utan vattentoaletter:
Nästan ingen recirkulation*

Av medeltidens till största del oorganiserade och bristfälliga hantering av avfall i städer kan man bara dra slutsatsen att återförsl av växtnäringssämnen därifrån till åkermark var mycket begränsad.

*Kulturer med vattenburna avloppssystem och avfallsbehandling:
Begränsad recirkulation av icke vattenlösta växtnäringssämnen*

Vattentoaletter var standard i flera tidiga kulturer. Därigenom har en hög hygienisk standard uppnåtts. Kanalisering, infiltration och inledning till vattendrag omöjliggjorde dock en fullständig recirkulation av växtnäringssämnen. Lösta ämnen rann bort i vattendragen eller tillfördes andra markområden än odlingsmarken och kunde inte tas tillvara. Enbart fast avfall samt avlagringar i avloppskanaler återfanns. Därför var även i dessa kulturer bortförsl av näringssämnen via skörd större än återförsl genom det återvunna organiska avfall. Detta innebar att odlingsmarken utarmades över tiden.

*Kulturer med organiserad insamling av allt organiskt avfall utan
vatteninblandning: Nästan fullständig recirkulation*

Enbart tidiga asiatiska kulturer verkar ha uppnåt en mycket hög grad av näringssåtercirkulation i människans historia. Genom att systematiskt samla in toalett-, hushålls- och annat organiskt avfall utan att blanda det med vatten och sedan återföra det till odlingsmark efter lagring resp behandling, har bördiga jordar kunnat upprätthållas. Dessa samhällen skulle kunna betecknas som 'kretsloppssamhällen'.

Kan avfallshanteringen i tidigare asiatiska kulturer vara en förebild för Sverige idag?

Urinseparering eller separation av klosettatten (svartatten) från annat avlopp och spridning på åkermark kan förefalla som den bästa lösningen för att uppnå en mer fullständig återförsl av växtnäringssämnen i dagens samhälle. Dessa metoder liknar dessutom hanteringen i tidigare asiatiska kulturer. Den principella skillnaden till dagens samhälle är att ca 80% av hushållens avlopp är kopplade till reningsverk, vilket innebär att transport av toalettavfall sker med mycket låg energiinsats till centraler enheter. Den enormt stora investeringen i rörsystem och verk för avloppsvattenbehandling är en tillgång som har all potential för en vidarutveckling. Reningsverk kan inte enbart ses som enheter för att rena avloppsvatten längre utan måste även ses som anläggningar där växtnäringssämnen kan utvinnas som gödselmedel utan fööreningar väl anpassade för växtodlingen

(utan att vattenreningen försämrats förstås). Denna utveckling kan möjliggöra en produktion av koncentrerade oorganiska gödselmedel, vilka kan distribueras på samma sätt som handelsgödsel (Kirchmann et al., 2005).

Slutsatser

I denna skrift pekas på att enbart tidigare asiatiska kulturer lyckades med att uppnå ett fungerande växtnäringsskretslopp för hushålls- och toalettavfall. Föreställningen att organiskt avfall bör återcirkuleras i organiska former såsom i dessa kulturen går inte att förena med vattenburna avloppssystem i dagens samhälle. Istället bör ledstjärnan vara att nya metoder utvecklas som möjliggör att lösa växtnäringssämnen ur samhällets organiska avfall (avloppsvatten och rötresten) kan utvinna i form av rena, koncentrerade, oorganiska gödselmedel.

Referenser

Dersin, D. 1997. What life was like when Rome ruled the world; The Roman Empire 100 BC-AD 200. Time-Life Books, New York.

Glover, I.C. & Ray, H.P. 1994. Civilisationer i Sydästen 3000 f. Kr. – 500 e. Kr. In: Bra Böckers Encyklopedi om Människans Historia, Vol 5. Civilisationens vagnar (ed by G. Burenhult), pp. 61-78. Bra Böcker, Höganäs, Sverige.

Joyner, G. 1995. Tidiga Högkulturer vid Medelhavet 3200 f. Kr.-800 f. Kr. Det minoiska palatset Knossos. In: Bra Böckers Encyklopedi om Människans Historia, Vol 6. Städer och stater (ed. G. Burenhult), pp. 26-30. Bra Böcker, Höganäs, Sweden.

King, F.H. 1911. Farmers of forty centuries or permanent agriculture in China, Korea and Japan. MacMillan Company Madison, Wisconsin, USA.

Kirchmann, H., Nyamangara, J. & Cohen, Y. 2005. Recycling municipal wastes in future: from organic to inorganic forms? Soil Use Manage (in press).

Tingsted K 1911. Stockholms renhållningsväsende från äldsta tider till våra dagar. Nordstedt & Söners Förlag, Stockholm, Sweden.

White-Hunt, K. 1980. Domestic refuse: a brief history (Part 1). Solid Wastes 70, 609-615.

Olika sätt att utvinna fosfor ur avloppsvatten

Yariv Cohen, SLU, Institutionen för Markvetenskap, Box 7014, 750 07 Uppsala.
E-post: yariv.cohen@mv.slu.se

Bakgrund

I april 1999 antog riksdagen 15 miljö kvalitetsmål varav flera är kopplade till kretslopp och återanvändning i syfte att skapa ett långsiktigt uthålligt samhälle. Ett viktigt delmål gäller återföring av fosfor och andra näringsämnen från stad till land, utan risk för hälsa och miljö. En utredning har gjorts av naturvårdsverket (2002a) för att kunna sätta de mål som skall gälla för återföring av näringsämnen från avlopp till jordbruksmark. Utredningen rekommenderade att år 2015 ska minst 60% av fosfor i avlopp återföras till produktiv mark, varav minst hälften bör återföras till åkermark. Utredningen visar också att det finns starka skäl till ett bredare synsätt och flera näringsämnen förutom fosfor nämligen svavel, kväve och kalium berörs. Andra faktorer som påverkar intresset för fosforåtervinning ur avloppsvatten är att världens fosfatfyndigheter är begränsade och beräknas räcka i ytterligare 50 - 100 år (Driver et al., 1999). Råfosfat är utgångsmaterialet vid tillverkning av handelsgödsel och detergenter. Fyndigheterna är ofta orena och innehåller allt högre kadmiumhalter, vilket ej är önskvärt.

Målet om ett hållbart samhälle har lett till att nya metoder som möjliggör återvinning av fosfor från avloppsvatten utvecklas på olika håll i världen. De flesta återvinningsteknologier befinner sig fortfarande i ett forsknings- och utvecklingsstadium, endast ett fåtal har implementerats i större skala. I Naturvårdsverkets utredning (2002b) har sex system för återföring av fosfor från avlopp studerats och jämförts med ett referenssystem. De beräknade kostnaderna för de olika återvinningsalternativen (Tabell 1) visar att system för återvinning av näringsämnen är mer lönsamma än urin- och klosettvtenseparation. Direkt användning av avloppsslam är naturligtvis det billigaste alternativet, men kostnaderna för att förbättra kvaliteten på avloppsslam så att spridning på jordbruksmark kan tillåtas är okända. I Sverige är det i praktiken inte möjligt att använda avloppsslam i växtodlingar pga krav från livsmedelindustrin. Förutom en icke-optimal sammansättning av näringsämnen, reducerar det höga innehållet av metallutfällningar (järn eller aluminium) tillgängligheten av fosfor. Med andra ord avloppsslam är inte ett optimalt gödselmedel.

Nya system för återvinning av näringsämnen

Hittills har återvinningen fokuserat mest på fosfor och mindre på kväve främst beroende på att inga krav har ställts på återvinning av kväve ur avloppsvatten utan enbart för kvävereduktion. De nya teknologierna för fosforåtervinning är: i) fosforfällning som kalciumfosfat (Giesen, 1999); ii) fosforfällning som struvit (magnesiumammoniumfosfat) från avloppsvatten (Ueno and Fujii, 2001), eller efter koncentrerat med jonbytare (Liberti et al., 2001); iii) fosforfällt slam återfälls som järnfosfat (Karlsson, 2001); iv) fosfor återvinns genom att bränna slam, lösa upp askan med syror och sedan använda jonbytare för separation av P (Jensen, 2000).

Som framgår ovan innebär fosforåtervinning oftast fällning av P till antingen kalciumfosfat, struvit eller järnfosfat. Dessa produkter är dock inte anpassade för en effektiv växtodling. Kalciumfosfat precis som råfosfat (apatit) från fosforfyndigheter, är svårlöslig och en direkt tillförsel till marken innebär en ineffektiv användning. Därför används det främst i industrin som ersättning för råfosfat och omvandlas till lösliga former igen. Förhållandet mellan N och P i struvit (1:1) är inte optimalt. Vidare är tillgängligheten av fosfor ännu oviss (Johnston and Richards, 2003). Struvit kan inte behandlas i fosforindustrin pga magnesium innehållet och måste användas som gödselmedel. Vidare är de återvunna struvitkristallerna svåra att hantera och sprida och måste granuleras. Järn- eller aluminiumfosfat som uppstår vid dagens fällning av fosfor i reningsverket är en svårlöslig produkt och dess fosforverkan i marken är begränsad. Sammanfattningsvis kan man säga att alla hittills återvunna gödsel- produkter ur avloppsvatten har ett ur växtnäringsperspektiv lågt värde, trots att dessa ej innehåller oönskade föroreningar.

Forskning vid Institutionen för Markvetenskap

Vid avdelningen för växtnäringslära, SLU, pågår ett forskningsprojekt för att utveckla en återvinningsprocess för näringsämnen P, S och N i vattenlöslig, oorganisk saltform. Fördelen med att återvinna näringsämnen som lösliga salter är (i) en hög tillgänglighet av näringsämnen för växterna under växtsäsongen, (ii) möjligheten att sprida de återvunna näringsämnena såsom handelsgödsel eller i flytande form med precision och (iii) billig transport som möjliggör en användning i hela landet. Metoden är baserad på avlägsnandet av lösta oorganiska joner från avloppsvatten genom jonbyte. Näringsämnena från jonbytaren återvinns i form av en oorganisk lösning under regenereringen. Lösningen koncentreras i jonbytarprocessen till kristallisationspunkt. De utförda experimenten visar att

det är möjligt att koncentrera P, S och N, i form av ammoniumsalter med en låg halt av organiskt material (0.35% C). Den återvunna produkten har ett lågt tungmetall- och kadmiuminnehåll (Tabell 2).

Sammanfattning

Det existerar olika möjligheter att återvinna näringsämnen från avloppsvatten. I framtiden kommer återvinning av näringsämnen att bli en central uppgift för reningsverken, som följaktligen kommer att kunna förse jordbruket med andra produkter än endast avloppsslam.

Tabell 1. Kostnader för de sex analyserade avloppssystemen i Naturvårdsverkets utredning (2002b). Kostnaderna utgör merkostnader utöver referensscenariot (biologisk-kemisk rening med slamförbränning)

Table 1. Costs for six different wastewater treatment systems analysed in the Swedish EPA report (2000b). Biological and chemical treatment followed by combustion of sludge was used as reference

Scenario	Investeringar <i>Investment</i> (kSEK)	Merkostnader <i>Increase in costs</i> (kSEK år ⁻¹) (kSEK yr ⁻¹)	Kostnad för återvinning <i>Recovery cost</i> (SEK kg ⁻¹ P)
Uppsamling av urin	653 000	55 000	1 900
Uppsamling av klosettwater	762 000	90 000	1 600
Slamanvändning i jordbruk	-24 000	-2 600	-27
PhoStrip	20 000	1 400	33
Utvinning av P ur slam KREPRO	39 000	4 200	80
Utvinning av P ur aska BIOCON	13 000	2 600	58

Tabell 2. Växtnäringssammansättningen av ett gödselmedel återvunnen med en jonbytare ur avloppsvatten från Vassunda utanför Uppsala.

Table 2. Plant nutrient composition of a fertilizer product recovered with ion exchange from wastewater from Vassunda near Uppsala.

Komposition <i>Composition</i>	%
Ammoniumfosfat (NH ₄) ₂ HPO ₄	9,3
Ammoniumsulfat (NH ₄) ₂ SO ₄	38,3
Ammoniumnitrat NH ₄ NO ₃	4,23
Ammoniumklorid NH ₄ Cl	35,5
Organiskt kol	0,35
Kadmium	0,00006 (< 3 mg Cd kg ⁻¹ P)

Referenser

Driver, J., Lijmbach, D. & Steen, I. 1999. Why recover phosphorus for recycling, and how? *Environmental Technology* 20, 652-662.

Giesen, A. 1999. Crystallization process enables environmental friendly phosphate removal at low costs. *Environmental Technology* 20, 769-775.

Jensen, J. 2000. Treatment of solutions comprising metals, phosphorus and heavy metals obtained from dissolution of combusted waste materials in order to recover metals and phosphorus. PCT application. Publication number WO 00150343. BIO-CON A/S, Saltumvej 25, DK-9700 Brønderslev, Denmark.

Johnston, A.E. & Richards, I.R. 2003. Effectiveness of different precipitated phosphates as phosphorus sources for plants. *Soil Use and Management* 19, 45-49.

Karlsson, I. 2001. Full-scale plant recovering iron phosphate from sewage at Helsingborg Sweden. Second International Conference on the recovery of phosphorus from sewage and animal wastes, Noordwijkerhout, The Netherlands, 12 - 13 March, 2001.

Liberti, L., Petruzzelli, D. & De flurio, L. 2001. Rem nut ion exchange plus struvite precipitation process. *Environmental Technology* 22, 1313-1325.

Naturvårdsverket 2002a. Aktivitetsplan för ökad återföring av fosfor ur avlopp från hushåll. Rapport 5214. ISBN 91-620-5214-4. ISSN 0282-7298.

Naturvårdsverket 2002b. System för återanvändning av fosfor ur avlopp. Rapport 5221. ISBN 91-620-5221-7. ISSN 0282-7298.

Ueno, Y. & Fujii, M. 2001. Three years experience of operating and selling recovered struvite from full-scale plant. *Environmental Technology* 22, 1373-1381.

Återvinning av P samt andra ämnen ur olika askor efter upplösning

Mats Ek och Christian Junestedt, IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60,
100 31 Stockholm. E-post: mats.ek@ivl.se

Bakgrund

Det mest naturliga sättet att återföra en stor del av fosfor, och även en del av kvävet, i kommunala avloppsvatten är direkt spridning av uttaget bioslam i jordbruket. På grund av rädsla för vad man samtidigt tillför jorden i form av tungmetaller och oönskade organiska ämnen har den direkta spridningen minskat kraftigt under senare år. Enligt Naturvårdsverket och SCB (2004) användes ca 24 % av det kommunala slammet i jordbruket år 2000, medan det bara var ca 12 % år 2002.

Samtidigt konstateras att minst 55 % av den totala slammängden klarade alla uppsatta gräns- och riktvärden för metaller respektive organiska ämnen. Endast 11 % rapporterades överskrida något värde, medan det helt eller delvis saknades uppgifter för 34 %. Eftersom farhågorna alltså till stor del kan kopplas till mer okända, icke reglerade organiska ämnen kan förbränning av slammet vara en metod att åtminstone kunna ta vara på fosfor. Andra möjligheter är kemisk/termisk behandling av slammet, med uppdelning i olika fraktioner, såsom med KREPRO, BioCon eller med superkritisk vattenoxidation, se t ex Stark m fl (2001).

Vid direkt spridning av askan har man dock förlorat fördelen med mullbildande ämnen och kvävetillsats. Fortfarande har man alla tungmetaller kvar i askan. Det gör att det kan vara intressant att titta på metoder att ta ut en relativt ren fosforprodukt ur askan.

Lakning av P ur aska

Askans ursprung

För lakningsresultatet är det viktigt hur askan tagits fram, och också dess innehåll av olika metaller. Vid normal förbränning vid hög temperatur får man bildning av den mycket stabila α -formen av Al_2O_3 . Om man där vill ha tillbaks fällningskemikalien måste man ta till mycket kraftiga metoder. Tabell 1 visar exempel på hur förbränningstemperaturen påverkade utbytet av fosfor, aluminium och järn ur aska från ett och samma slam. Slammet var en blandning av bioslam och kemslam från ett kommunalt reningsverk, och lakningarna gjordes under relativt milda betingelser.

Tabell 1. Utbyte av fosfor, aluminium och järn vid lakningar av aska från olika temperatur

Table 1. Yield of phosphorous, aluminum and iron from leaching of ash from different temperature

Aska från °C	Lutlakning utlöst % av <i>NaOH dissolution</i>			H_2SO_4 -lakning utlöst % av <i>H₂SO₄ dissolution</i>			HCl-lakning utlöst % av <i>HCl dissolution</i>		
	P	Al	Fe	P	Al	Fe	P	Al	Fe
325	30	58	0,02						
550	24	52	0,01	93	97	71	84	82	72
800	16	6	0,004				86	30	12

Aska som bildats vid superkritisk vattenoxidation (SCWO) bör ha egenskaper som en lågtemperaturaska, och det stöds av försök gjorda av Levlin m fl (2004).

Lakning med syra eller bas?

I tabell 1 ser man också viktiga skillnader mellan syra- och lutlakning. Vid syralakning går de flesta metaller i lösning på samma sätt som järn (förutsatt att de inte bildat mycket stabila oxider eller man fått en förglasning). Vid lutlakning är det endast aluminium av de viktiga metallerna som går i lösning. Det innebär att man kan få större problem med tungmetaller i fosforprodukten eller i en resterande vattenfas efter lakning med syra.

Att man löser upp metaller samtidigt som fosfor ger inte bara problem vid avskiljningen av en fosforprodukt, det har också stor betydelse för kemikalieförbrukningen vid upplösningen. Vid sur lakning av rest från SCWO kan fosfor dock lakas ut vid så milda förhållanden att bara en mycket liten del av järnet går i lösning (Lewlin m fl 2004).

Lakning med lut kan ge andra möjligheter än sur lakning. Huvuddelen av tungmetallerna kommer att stanna kvar i den fasta lakresten. Man får en laklösning med främst fosfor och varierande mängd aluminium. Med en lättlakad aska får man ett högt utbyte av aluminium, och därmed chans att

återvinna en fällningskemikalie. Med en svårlakad aska är utlösningen av aluminium liten, och förbrukar alltså inte mycket lut.

Försök med lakning med lut

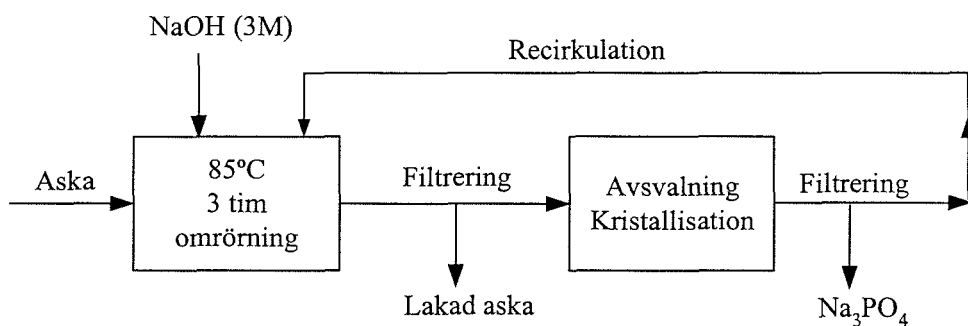
Idag ligger det mer aktuellt att förbränna slam vid hög temperatur än med SCWO, och dessutom har vår studie finansierats av Falu Energi som planerar att förbränna sin aska konventionellt. Därför har vi koncentrerat oss på lutlakning av aska från förbränning av slam i Mora, där härdens temperatur är ca 900°C.

Inledande försök med lut visade att:

- Utbytet av fosfor ökade med ökad lutstyrka, upp till en viss nivå som berodde på kvoten aska/lut.
- Utlösningen ökade och var snabbare vid högre temperatur.

Inget av detta var förvånande. Vi försökte sedan öka kvoten aska/lut och samtidigt höja lutstyrkan och temperaturen. Det visade sig då att med vissa kombinationer fick vi inte bara en godtagbar utlösning, utan även en spontan utfällning av ett salt då lösningen svalnade. Saltet visade sig vara $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot x\text{NaOH} \cdot (12-x)\text{H}_2\text{O}$. Baserat på dessa resultat tänkte vi oss följande mycket enkla process, se figur 1.

Låga luthalter gav ingen eller dålig spontan utfällning, medan alltför höga gav ett svårseparerat system. Ett faktorförsök med 3 M NaOH och variation av kvoten aska/lut, temperatur och reaktionstid visade att lämpliga betingelser för den aktuella askan var 170 kg aska/m³ lut, 80-85°C och 3-4 timmars lakning.



Figur 1. Principskiss för lakning och utfällning av fosfor.

Figure 1. Flow chart for leaching and precipitation of phosphorous.

Lutförbrukningen kommer att vara beroende av mängden fosfor och lakbart aluminium. Det betyder att antingen lakar man ut och kan återvinna mycket aluminium till en högre kostnad, eller så får man lite aluminium och billigare lakning, beroende på askans egenskaper. Tabell 2 visar materialflöden i de olika stegen för den aktuella askan.

Genom att recirkulera lakvätskan och bara tillsätta mer NaOH i varje cykel blir utfällningen av natriumfosfat nästan fullständig. Samtidigt kommer halten av aluminium och tungmetaller att öka. Efter ett visst antal cykler kan den återstående aluminatlösningen eventuellt användas som fällningskemikalie, förutsatt att man kan avskilja huvuddelen av tungmetallerna.

Hela processen är ännu inte optimerad, i väntan på att förbränningen i Falun ska komma igång. Metoden tycks genom sin enkelhet vara intressant, även om det är svårt att tänka sig att den skulle kunna konkurrera med dagens priser på fosfor i handelsgödsel. Processen kan bara motiveras av en önskan att sluta kretsloppen och spara fosfor.

Tabell 2. Mängder av olika ämnen i procesströmmar, baserat på 1 000 kg aska
Table 2. Amounts of different elements in the process flows, based upon 1 000 kg ash

Ämne	I aska <i>In ash</i> kg	Utlöst ur aska <i>Dissolved</i> kg %		I fällning <i>Precipitated</i> kg %		Kvar i lakvätska <i>Remaining in solution</i> kg %	
P	74	55	74	48	65	7	9,5
Al	230	62	27	0	0	62	27
Fe	39	1,5	3,8	0,22	0,6	1,3	3,3
	g	g		g		g	
As	16	0,2	1,3	0,02	0,13	0,18	1,1
Cd	1,3	1,3	100	0	0	1,3	100
Cr	67	0,3	0,45	0,11	0,16	0,19	0,28
Cu	360	55	15	2,7	0,75	52	14
Ni	28	0,16	0,57	0,04	0,14	0,12	0,43
Pb	13	8	62	0	0	8	62
Zn	320	190	59	0	0	190	59

Referenser

Levlin, E., Löwén, M. & Stark, K. 2004. Lakning av slamrest från förbränning och superkritisk vattenoxidation. VA-Forsk rapport 2004-03.

Naturvårdsverket & SCB 2004. Utsläpp till vatten och slamproduktion 2002. Kommunala reningsverk, skogsindustri samt viss övrig kustindustri. Statistiska meddelanden MI 22 SM 0401.

Stark, K., Hultman, B., Mossakowska, A. & Levlin, E. 2001. Kemikaliebehov vid fosforutvinning ur avloppsslam. Vatten 57, 207-215.

Biogasjäsning av slakteriavfall och rester från etanoltillverkning

Jörgen Ejlertsson, Svensk Biogas AB, Box 1500, 581 15 Linköping.
E-post: jorgen.ejlertsson@tekniskaverken.se

Inledning

Vid jäsning av avfall sker en biologisk förgasning av det organiska materialet i avfallet till metan och koldioxid (biogas). Under processens förlopp kommer en betydande del av växtnäringen i avfallet att frisättas och göras lättillgängligt för upptag av växter. Återstoden efter jäsningen (biogödsel) lämpar sig därför väl som ett direktverkande gödselmedel och kan spridas med flytgödselteknik.

Vid jäsning av avfall som faller under animaliska biproduktsförordningen krävs ett hygieniserande delsteg, vilken oftast innebär en satsvis pastörisering i en timme vid minst 70 °C. Hygieniserat avfall pumpas därefter in i en biogasreaktor för biologisk förgasning vid 37 °C (mesofil jäsning) eller 55 °C (termofil jäsning).

Biogasproduktion ur slakteriavfall

Svensk Biogas AB är helägt dotterbolag till Tekniska Verken i Linköping AB som driver en produktionsanläggning för fordonsgas i Linköping. Anläggning tar emot ca 55 000 ton avfall från slakteri- och livsmedelsindustrier. Avfallet hygieniseras först och jäsas därefter mesofilt till biogas vid en uppehållstid av ca 40 dygn. Alstrad biogas uppgraderas till fordonsgas med vattenskrubbteknik. Under 2004 producerade, distribuerade och sålde Svensk Biogas AB ca 4,5 miljoner m³ fordonsgas. Ca 75% av biogasen såldes till bussflottan i Linköping och ca 25 % till allmänheten.

Svensk Biogas AB:s produktionsanläggningen vid Åby Västergård i Linköping var den första anläggningen som dels fick ett godkännande för spridning av biogödsel på åkermark av Ceralia och dels certifierade sin biogödsel enligt RVF:s krav. All biogödsel sprids därför idag på åkermark i Linköpingstrakten och är ett uppskattat gödselmedel på grund av sin höga halt av växtnäring, framför allt kväve (Tabell 1). Genom ett omfattande drift- och processarbete har hög förgasningsgrad av processat avfall erhållits samtidigt som allvarliga driftstörningar har kunnat undvikas.

Tabell 1. Sammansättning av växtnäring i biogödsel från rötning av slakteri och livsmedelsavfall i jämförelse med nöt- och svinflytgödsel, kg m⁻³

Table 1. Plant nutrient composition of biogas residues from mixed slaughter house and food wastes as compared to animal slurries, kg m⁻³

Innehåll <i>Composition</i>	Biogödsel <i>Biogas residue</i>	Nötflytgödsel <i>Cattle surry</i>	Svinflytgödsel <i>Pig slurry</i>
Torrsubstans	50	-	-
Totalkväve	7,3	3,9	5,1
Ammoniumkväve	5,1	1,8	3,3
Fosfor	0,8	0,8	1,9
Kalium	0,8	4,0	3,0

Biogasproduktion ur restprodukter från etanoltillverkning

Vid tillverkning av etanol erhålls en jäst och destillerad restprodukt som kallas drank. Denna restprodukt, som har ett högt energivärde och proteininnehåll, torkas, pelleteras och används som djurfoder. En alternativ användning av restprodukterna från etanoltillverkningen är att alstra biogas ur dranken. Svensk Biogas AB har under en treårs-period arbetat med ett koncept som går ut på att jäsa spannmål till biogas för att få fram en enkel produktionsteknik med låg investeringsvolym samt låga drift- och underhållskostnader. I konceptet som framtagits, lämpar sig dranken utmärkt som ett substrat i kombination med spannmål. Alstrad biogas förädlas till fordonsgas och biogödseln avsätts för lantbruksändamål. Kväve och fosforinnehåll i biogödseln från provjäsningssöök med restprodukter från etanoltillverkning och spannmål finns redovisade i tabell 2.

Tabell 2. Preliminär växtnäringssammansättning av biogödsel från samjäsning av restprodukter från etanoltillverkning med spannmål

Table 2. Preliminary plant nutrient composition of biogas residues from digestion of grains mixed with ethanol residues

Innehåll <i>Composition</i>	kg m ⁻³
Torrsubstans	65
Totalkväve	7,6
Ammoniumkväve	4,4
Fosfor	1,6
Kalium (ej analyserad)	

Biogasjäsning av växtbiomassa och hushållsavfall

Carl-Magnus Pettersson, Driftschef, Svensk Växtkraft AB, Nyängsleden, 721 87 Västerås.
E-post: carl-magnus.pettersson@vasteras.se

Inledning

Ambitionen idag hos politiker på olika nivåer, myndigheter och många andra är att åstadkomma ett samhälle med ökad miljöhänsyn, där resurser tillvaratas och linjära flöden bryts och ersätts av kretsloppslösningar. Av denna anledning har på många platser i landet långt gående källsortering införts där organiskt avfall från hushåll och verksamheter separeras ut från de andra avfallsfraktionerna. Ofta komposteras den organiska fraktionen och komposten används vid tillverkning av jordprodukter. En från kretsloppsynpunkt bättre lösning är att den organiska fraktionen från källsorteringen behandlas så att restprodukten kan användas i lantbruket som växtnäringskälla i växtodlingen vid produktion av råvaror för livsmedel.

Jordbruket brottas med överproduktion av spannmål och vikande lönsamhet. I vissa delar av landet har också markens odlingspotential försämrats genom ensidig spannmålsodling under lång tid. Därför är det av stort intresse för jordbruket att finna nya användningsområden för jordbruksgrödorna och gärna då för grödor som samtidigt är en bra förfrukt.

Växtkraftsprojektet i Västerås

Projektets övergripande syfte är att i full skala realisera de ambitioner som finns i samhället och vara ett demonstrationsprojekt där nya lösningar och koncept provas. Projektet är också ett demonstrationsprojekt inom EU:s femte ramprogram. Med de anläggningar som byggs inom ramen för projektet ska:

- energi i form av biogas utvinns ur källsorterat organiskt avfall och vallgröda
- biogas uppgraderas till högvärdigt fordonsbränsle för drift av stadsbussar och personbilar
- det organiska avfallet från hushåll och annan verksamhet behandlas på ett miljömässigt riktigt sätt
- restprodukten från rötningen (den sk rötresten) återförs till lantbruket så att den kan användas som en växtnäringsresurs i uthållig livsmedelsproduktion.

- Vidare ska projektet: skapa förutsättningar för odlingssystem som ökar markens odlingspotential och minskar riskerna för läckage av växtnäring från åkermarken
- vara en bas för forskning och utveckling

De anläggningar som Svensk Växtkraft AB nu bygger omfattar:

- Biogasanläggning för behandling av avfall och utvinning av biogas
- Anläggning för uppgradering av biogas från den nya biogasanläggningen och från det befintliga avloppsreningsverket i Västerås till fordonskvalitet
- Lager för biogas och lager för kondenserad naturgas att användas som reserv om det uppstår störningar i produktionen
- Tankningsanläggningar för bussar och bilar
- Markförlagda ledningar för överföring av gas mellan olika anläggningsdelar
- Lager för ensilage intill biogasanläggningen
- Lager för flytande rötresten i form av, dels ett större lager intill biogasanläggningen, dels satellitlager i anslutning till spridningsarealerna

Tabell 1. Nyckeldata

Table 1. Key data

Organiskt fast avfall från hushåll och andra verksamheter	14 000 ton/år
Flytande avfall (fettavskiljareslam)	4 000 ton/år
Vallareal	300 ha
Vallgröda (ensilage)	5 000 ton/år
Fasta rötresten (ts>25%)	6 500 ton/år
Flytande rötresten (ts 2-3%)	15 000 ton/år
Växtnäring (brutto)	
kväve	150 ton/år
fosfor	30 ton/år
kalium	90 ton/år
Biogas tillgängligt för uppgradering till fordonsbränsle	
från biogasanläggningen	15 GWh/år
från avloppsreningsverket	8 GWh/år
motsvarande mängd bensin/diesel	2,3 milj liter
Beräknat antal fordon (fullt utbyggt)	
stadsbussar	minst 40
renhållningsfordon	ca 10
personbilar och andra små fordon	ca 500

Organiskt avfall

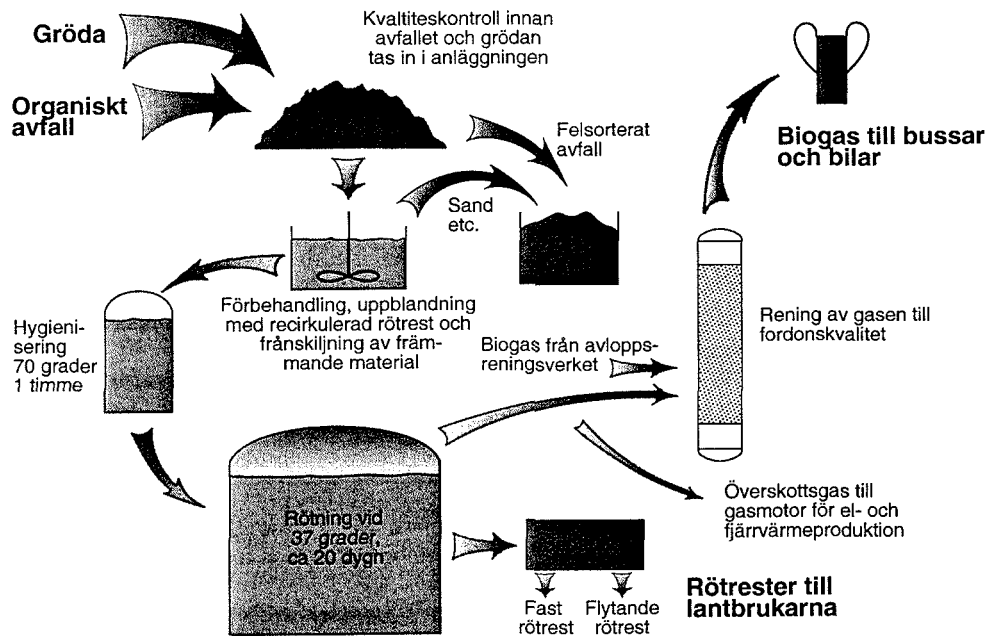
Vid källsorteringen av organiskt avfall i uppsamlingsområdet för avfall till anläggningen används påsar av våtstarkt papper för uppsamling av det organiska materialet i köket. Utomhus förvaras påsarna i ventilerade kärl. Erfarenheterna från systemet som är bruk i regionen sedan 1997 är mycket goda och det insamlade avfallet håller en sådan kvalitet att det efter behandling (rötning) kan användas som gödselmedel i växtodling.

Vallgröda

Till projektet har 17 lantbrukare kontrakterats som tillsammans odlar 300 ha klöverrik vall. Svensk Växtkraft köper grödan på rot och svarar för skörd och ensilering. Det sker med modern effektiv teknik. Hackningen sker med självgående exakthack och transporten till lagret vid biogasanläggningen med containrar och lastbil. Ensileringen utförs med sk korpäckningsteknik.

Biogasanläggning

Biogasanläggningen byggs intill avfallsanläggningen på Gryta i norra utkanten av Västerås och är den största delen i projektet. Tekniken som används för förbehandling, hantering och rötning av materialet är utvecklad i Tyskland och är använd i biogasanläggningar i Tyskland och i Spanien.



Figur 1. Schematisk översikt över biogasanläggning och uppgradering av biogas.
Figure 1. Schematic picture of the biogas plant and gas concentration unit.

Uppgraderingen av biogasen till fordonskvalitet sker med sk vatten-skrubberteknik vilket innebär att koldioxid (ca 35% av rågasen) och föroreningar tvättas bort med hjälp av trycksatt vatten. Tankningsanläggningarna är lokaliserade till lokaltrafikens bussdepå i Västerås. Anläggningarna omfattar lager för biogas för ett dygns förbrukning, reservlager för kondenserad naturgas för en veckas förbrukning, högtryckskompressorer som komprimerar gasen i högtryckslagret upp till ett tryck av 350 bar samt dispensrar för snabbtankning av bussar och bilar. Den kondenserade naturgasen är enbart en reserv som direkt kan ersätta biogas från uppgraderingsanläggningen vid eventuella driftstörningar.

Rötrest

Från biogasanläggningen erhålls efter rötningen en sk rötrest som fasssepareras i en fast och i en flytande del. Torrsubstanshalterna hos de två fraktionerna beräknas vara ca 30% respektive 2-3%. De lantbrukare som har kontrakterats för odling av vallgröda köper rötrest i proportion till den vallareal som kontrakterats och använder rötresterna som ersättning för inköpt konstgödsel. Eftersom växtnäringen fördelas olika på de två fraktionerna är det sannolikt att den fasta fraktionen i huvudsak används som ett fosforgödselmedel och den flytande som kväve- och kaliumgödselmedel. För de av lantbrukarna i odlargruppen som är eko-odlare kommer rötresterna att vara extra intressanta eftersom KRAV har gett ett tidsbegränsat förhandsgodkännande. När anläggningen har tagits i drift är det planerat att rötresten certifieras som ett produktionshjälpmedel i KRAV-odling.

Intressenter i projektet

Anläggningarna som nu byggs, och som delvis har tagits i drift, ägs och drivs av Svensk Växtkraft AB. Delägare i bolaget är:

Vafab, det regionala avfallsbolaget	40%
LRF, genom Swede Agri Invest	20%
Mälarenergi	20%
17 lokala lantbrukare	20%

Investeringsbidrag som gjort projekt realiseringsbart har erhållits från det lokala investeringsprogrammet, från EU:s femte ramprogram samt från Sparbankstiftelsen Nya.

Rötat källsorterat matavfall som gödselmedel i spannmålsproduktion

Eva Salomon¹, Helena Åkerhielm² och Anna Richert Stintzing³, ¹JTI Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Box 7033, 750 07 Uppsala. E-post: eva.salomon@jti.slu.se,
²Medinge Säteri, 718 92 Frövi, ³VERNA Ekologi AB, Malmgårdsvägen 14, 116 38 Stockholm.

Inledning

En förutsättning för att cirkulera näringsämnen från hushållens organiska avfall tillbaka till åkermark är att bonden accepterar gödselmedlet. För att få denna acceptans behövs bland annat kunskap om rötat källsorterat matavfall (RKM) och dess egenskaper som gödselmedel samt gödseffekt. Inga sådana fältexperiment har rapporterats hittills. Det finns dock kunskap om liknande gödselmedel i litteraturen såsom obehandlad flytgödsel, rötad flytgödsel och rötat växtmaterial (Örtenblad et al., 1995; Örtenblad, 2000; Holm-Nielsen et al., 1997; Rodhe & Salomon, 1992).

Fältförsök, finansierade av Jönköpings kommun, genomfördes under åren 1999-2003 i södra Sverige. Syftet var att studera och utvärdera RKM som gödselmedel till korn och havre och dess effekt på avkastningen.

Material och metoder

Fältförsöken var upplagda som ett split plot försök med tre upprepningar och sju behandlingar år 1999, 2000 och 2003 samt åtta behandlingar år 2001 och 2002. Rötat källsorterat matavfall, med en torrsubstanshalt på 1-3% jämfördes med mineralkväve (alla år) och nötflytgödsel (2001-2003). Två olika spridningsstrategier utvärderades år 1999 och 2000; spridning vid sådd och spridning då grödan var 15-20 cm hög. År 2002 och 2003 inkluderades en behandling med avvattnat RKM. Fältplanen visas i tabell 1. Näringsinnehållet för RKM och nötflytgödsel visas i tabell 2. Nötflytgödseln och RKM bandspreddes på våren med släpslangspridare och harvades sedan ner inom en timme. Vid bandspridning i växande gröda skedde ingen efterföljande harvning. Avvattnat rötat källsorterat matavfall spreds för hand. Gödselgivans storlek begränsades till att maximalt motsvara en tillförsel av 90 kg totalkväve per hektar.

Tabell 1. Fältplan med rötat källsorterat matavfall (RKM) i Jönköping 1999-2003
 Table 1. Field trial treatments with digested residues (DR) in Jönköping, 1999-2003

År Year	Behandling Treatment	N tillförsel kg tot N ha ⁻¹ N application
1999-2003	Mineral-N	0, 30, 60, 90, 120
1999-2003	RKM (1-3% TS), vår	90
1999-2000	Mineral-N + RKM, sommar	90
2001-2003	Nötflytgödsel, vår	90
2001-2002	RKM, (25% TS), vår	90

Tabell 2. Innehållet av näringsämnen i använda gödselmedel, lägsta och högsta värdet
 Table 2. Nutrient content in the organic fertilisers used, lowest and highest value

Gödselmedel Fertilizer	% TS D.M.	Total N	NH ₄ -N kg ton ⁻¹ våtvikt (wet weight)	P	K
RKM (1-3% TS)	0,85-2.4	1.4- 3.4	1-2.5	0.1- 0.4	0.8 -1.6
Nötflytgödsel	5.5-6.8	2.6-3.7	1.6-2.1	0.15-0.55	2.2-3.6
RKM (25% TS)	28-29	17 - 19	3.9	3.5 - 3.6	1.2 - 1.3

Tabell 3. Kornskörd (1999, 2000, 2002) och havreskörd (2001) i behandlingar med RKM jämfört med mineralkväve och nötflytgödsel
 Table 3. Yield of barley (1999, 2000, 2002) and oats (2001) in treatments with digested source separated food wastes as compared to mineral N and slurry

År Year	RKM vår Skörd kg ha ⁻¹ Yield kg ha ⁻¹	RKM vår	RKM sommar Relativskörd i % Relative yield as compared to mineral N fertilizer	Nötflytg.	RKM 25%TS
99	5200	99	95	--	--
00	4260	90	81	--	--
01	3800	105	--	110	80
02	2060	72	--	70	65
03	3160	81	--	73	--

Resultat

Kärnskörden efter spridning av RKM och nötflytgödsel jämfördes med kärnskörden efter spridning av mineralkväve. Resultaten presenteras i tabell 3.

Slutsatser

Rötat källsorterat matavfall är ett gödselmedel som kan ersätta mineralgödsel vid produktion av korn och havre. Rötat källsorterat matavfall gav en kärnskörd motsvarande 72 till 105% av kärnskörden som gödslats med mineralgödsel. Skördenivån vid gödsling med RKM var jämförbar med skördenivån vid gödsling med nötflytgödsel. Spridning av RKM kan ske senare på säsongen i växande gröda med gott resultat, så länge grödan får en startgiva kväve på våren. Bonden får också flera möjliga spridningstidpunkter och har därmed bättre förutsättningar att välja en optimal spridningstidpunkt ur produktions- och miljösynpunkt.

Litteratur

Holm-Nielsen, J. B., Halberg, N., Huntingford, S. & Al Seadi, T. 1997. Joint Biogas Plant. Agricultural Advantages – circulation of N, P and K. Report made for the Danish Energy Agency. Second Edition, Copenhagen.

Rodhe, L. & Salomon, E. 1992. Spridning av flytgödsel i stråsäd. JTI-Rapport 139, JTI-Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.

Örtenblad, H., Birkmose, T. & Knudsen, L. 1995. Näringsstoffudnyttelsen i afgasset gylle. Landbrugets Rådgivningscenter. Landskontoret for Planteavl. Denmark.

Örtenblad, H. 2000. The use of digested slurry within agriculture. In: Anaerobic digestion: Making energy and Solving Modern Waste Problems (ed. by. H. Örtenblad), pp. 53-65.

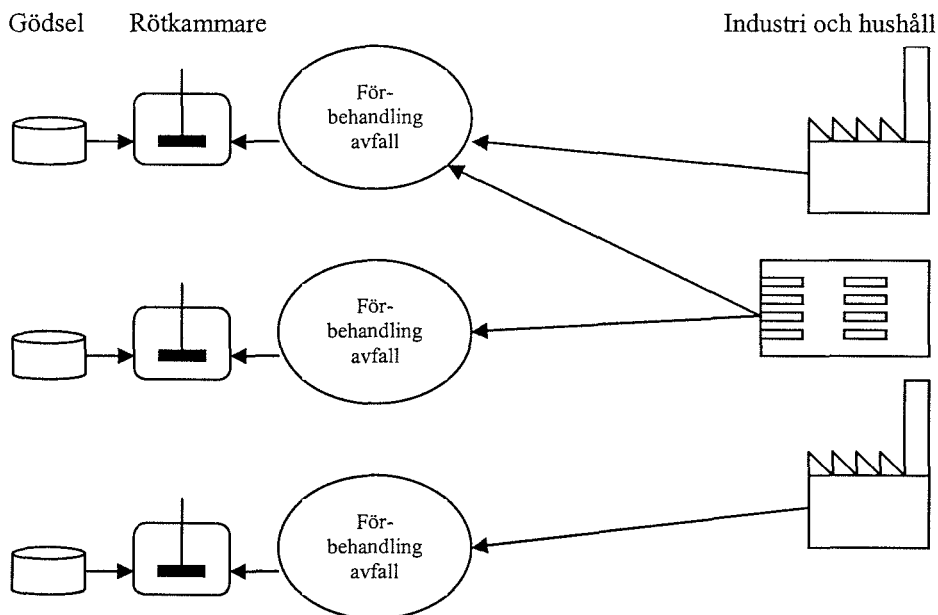
Synpunkter på olika biogassystem

Åke Nordberg, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Box 7033, 750 07 Uppsala.
E-post: ake.nordberg@jti.slu.se

Inlägg till slutdiskussionen

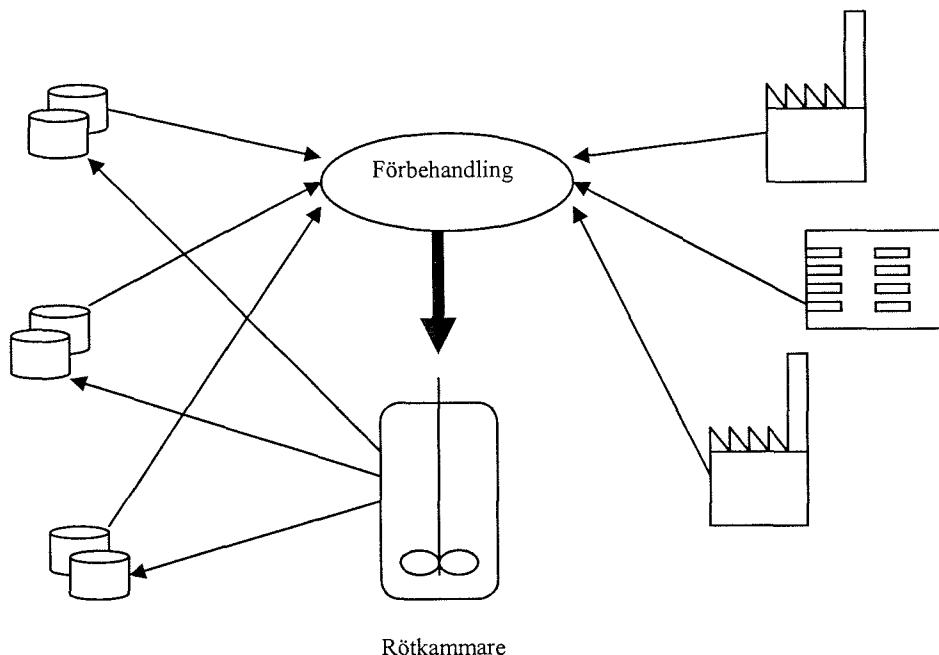
I Sverige har framförallt centraliserade system för samrötning av avfall och gödsel etablerats under de senaste åren. Samrötning av avfall och gödsel kan dock göras i olika skalor och organiseras på olika sätt. Dessa skiljer sig åt med avseende på en rad aspekter, t.ex. gödseltransporter, anläggningsstorlek och möjlighet till användning av den energi som genereras via biogas.

Rötning kan utföras på gårdsnivå, i centraliserade anläggningar eller i kombinerade system bestående av en central enhet för förbehandling av avfallet och flera decentraliserade gårdsanläggningar för samrötning av det förbehandlade avfallet med gårdens gödsel.



Figur 1. Biogassystem med både decentraliserad förbehandling av avfall och samrötning med gödsel.

Figure 1. Systems for decentralized pretreatment of wastes followed by combined biogas digestion with animal slurries.

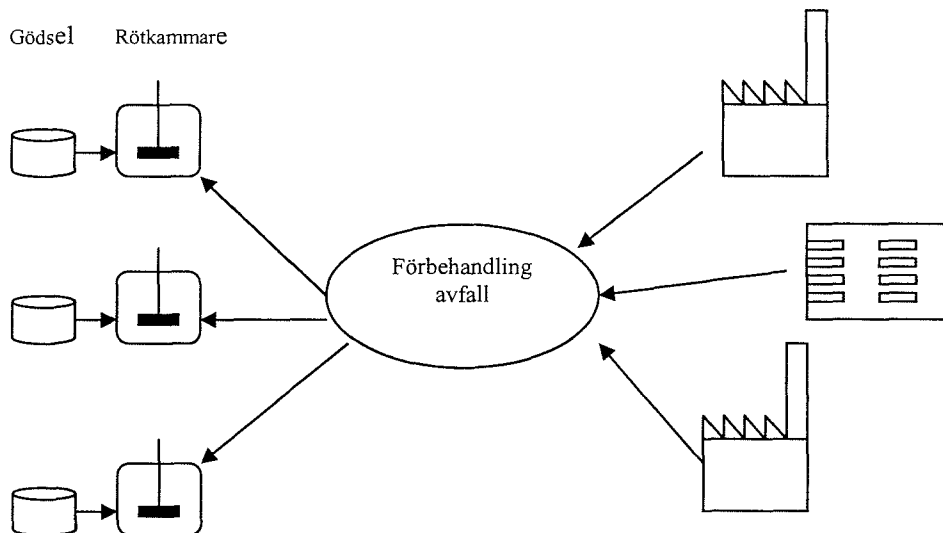


Figur 2. Biogassystem med centraliserad förbehandling av avfall och gödsel samt centraliserad samrötning.

Figure 2. Biogas systems with centralized pretreatment of wastes and animal slurry and centralized combined digestion.

Småskaliga system med gårdsrötning av avfall och gödsel (Figur 1) har fördelen att långa gödseltransporter kan undvikas och att en decentraliserad el- och värmeproduktion kan ske. Detta skapar ett energiförsörjningssystem på gårdsnivå som eliminerar den känslighet som finns i stora distributionssystem. En gårds energibehov är dock begränsat varför extern avsättning av el eller värme måste finnas för att hela biogasproduktionen ska kunna nyttjas. Nackdelen är att separation av synbara föroreningar (t.ex. plast) ofta måste göras på förhand. Vidare finns risk att kvalitetssäkringen av substratens hygieniska status försämrats.

En centraliserad anläggning (Figur 2) medger ofta en effektiv mekanisk separation av föroreningar, en bättre kvalitetskontroll av hygienisering och lägre investeringskostnad per behandlad mängd. Nackdelarna med det centraliserade systemet är att gödseln måste transporteras in till anläggningen och biogödseln tillbaka till gårdarna. Vidare måste placeringen av anläggningen noggrant planeras utifrån energileveransmöjligheter, luktrproblem och buller orsakad av transporter mm.



Figur 3. Biogassystem med centraliserad förbehandling av avfall och samrötning med gödsel.

Figure 3. Biogas systems with centralized pretreatment of wastes and combined digestion with animal slurries

Fördelarna med de tidigare nämnda organisationsmodellerna kan förenas i ett system som tillämpar en centraliserad förbehandling och hygienisering med en efterföljande samrötning med gårdens gödsel i gårdsskala (Figur 3). Denna modell tillåter en effektiv separation av föroreningar, en kvalitetssäkrad hygienisering av samtliga avfall utan att gödseln måste transporteras in till anläggningen. Med denna modell kan gårdsanläggningar även ta emot avfall med mycket höga krav på hygienisering, t.ex. animaliska biprodukter. En centraliserad förbehandling av olika avfall är också fördelaktigt eftersom det kan medge kontrakt på längre tid med olika avfallsleverantörer. Vidare är det svårt för enskilda lantbrukare att klara individuella kontrakt om tekniska problem sätter ned behandlingskapaciteten.

Läget inom kompostering

Ylva Eklind, SLU, Institutionen för Markvetenskap, Box 7014, 750 07 Uppsala.
E-post: YlvaEklind@evp.slu.se

Storskalig kompostering

Idag finns i Sverige 20 stora anläggningar (som behandlar över 5000 ton per år) för kompostering av hushålls- och parkavfall och ca 100 för kompostering av rent parkavfall (Pers. med. Hanna Hellström, RVF). Av den totala mängden hushållsavfall går 17% till biologisk behandling, och nästan allt komposteras. Förbudet mot att deponera organiskt avfall fr.o.m. 1 januari 2005 har bl.a. lett till att nya komposteringsanläggningar byggs. Samtidigt bygger man om många befintliga anläggningar så att behandlingsprocessen blir sluten. Syftet är att minska problem med lukt och emissioner av ammoniak och andra miljöstörande gaser vid kompostering av hushållsavfall.

Inom forskningen har nyligen intressanta resultat framkommit som visar på möjligheten att effektivisera komposteringsprocessen, framförallt att snabba på den initiala fasen, genom att styra temperatur och pH (Smårs, 2002). Studier av hur detta kan tillämpas i praktiken vid storskaliga anläggningar pågår vid SLU:s institution för biometri och teknik, Ultuna.

Kompostanvändning

Av den storskaligt producerade komposten används huvuddelen till jordblandningar, exempelvis anläggningsjordar (Pers. med. Hanna Hellström, RVF). Goda exempel finns där man lyckats mycket bra med kompostkvaliteten och de produkter man framställer har stor efterfrågan. Denna användning gör att växtnäring och mullämnen i komposten nyttiggörs, och ersätter en del av den handelsgödsel och torv som annars skulle använts. Det är dock i detta fall inte fråga om återcirkulation av växtnäring till åkermark. Komposten har en låg kvävehalt, och det befintliga kvävet frigörs långsamt eftersom det mesta är organiskt bundet. (Se exempel på växtnäringsinnehåll i Tabell 1). Sett ur jordbrukssynpunkt är kompost därför främst att betrakta som ett näringsfattigt jordförbättringsmedel. I trädgårdsodling däremot, exempelvis i kruk- eller bäddodlade kulturer, kan odlingssubstrat med 25-50% hushållskompost ge goda odlingsresultat. Viktigt är att optimera odlingssubstratet utifrån ledningstal och pH (Johansson et al., 1997; Eklind et al., 2001).

Tabell 1. Exempel på växtnäringsinnehåll i storskaligt producerad kompost baserad på hushålls- och parkavfall, g kg⁻¹ Ts. Från Arora et al., under tryckning
Table 1. Example of plant nutrient content in urban household- and yard waste compost g kg⁻¹ D.M. From Arora et al., in press

Tot-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Tot-P	Tot-K
21.5	0.013	0.70	3.95	10.1

Förutom att utnyttja växtnäring och mullämnen i komposten finns också en potential att använda kompost för hämning av växtpatogener (Hoitink & Fahy, 1986; Arora et al., in press).

Så mycket som 44% av den storskaligt producerade komposten går idag till täckning av deponier. Orsakerna till detta kan variera, t.ex. att komposten har ojämn kvalitet eller för höga halter av tungmetaller för att passa i odling, men också att man inte satsat på att ta fram produkter som marknaden efterfrågar eller helt enkelt att man har behov av täckmaterial till deponier.

Inom det nationella, frivilliga certifieringsprogrammet för kompost och rötrest (NV, 1999) har nyligen den första komposteringsanläggningen påbörjat certifieringsprocessen.

Småskalig kompostering

I en enkätundersökning från år 2000 riktad till landets kommuner, uppskattas 360 000 hushåll (9 % av Sveriges hushåll) kompostera sitt matavfall helt eller delvis (RVF, 2000). Av dessa bodde 300 000 i småhus och 60 000 i flerfamiljshus. I småhusen skedde komposteringen i isolerade mindre behållare, medan det i flerfamiljshus fanns ett tusental större maskinella kompostorer för gemensamt bruk. Antalet hushåll som hemkomposterar beräknades att öka till 11% av Sveriges hushåll år 2005. Det framkom att många kommuner premierar lokal kompostering (hemkompostering) på olika sätt. Utformningen av avfallstaxan är dock viktig för vilket resultat man uppnår; i de fall hemkompostering ger en starkt subventionerad avfallstaxa ökar risken att folk som anmält att de komposterar ändå lägger matavfall i sopbehållaren.

Avsättningen av lokalt producerad kompost är oftast inget problem när det gäller enskilda hushåll med exempelvis en villaträdgård där växtnäringen

och mullämnena i komposten nyttiggörs. När det gäller kompostering i flerfamiljshus med endast små grönytor i anslutning till bostäderna är dock ytan ofta otillräcklig för att man ska kunna sprida komposten år efter år utan problem med anrikning och utlakning av växtnäringsämnen. Avsättningen av kompost måste istället lösas t.ex. genom avtal med en koloniträdgårdsförening, varpå goda exempel finns.

Litteratur

Arora, T., Eklind, Y., Rämert, B. & Alström, S. In press. Microbial analysis and test of plant pathogen antagonism by municipal and farm composts. *Biological Agriculture and Horticulture*.

Eklind, Y., Rämert, B. & Wivstad, M. 2001. Evaluation of growing media containing farmyard manure compost, household waste compost or chicken manure for the propagation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) transplants. *Biological Agriculture and Horticulture* 19, 157-181.

Johansson, C., Kron, E., Svensson, S-E-, Carlsbaeck, M. & Reeh, U. 1997. Compost quality and potential for use. AFR-report 154. Naturvårdsverket, Stockholm.

Hoitink, H.A.J. & Fahy, P.C., 1986. Basis for the control of soil borne plant pathogens with composts. *Annu. Rev. Phytopathol.* 24, 93-114.

NV. 1999. Sjösättning av certifieringssystem för kompost och rötrest. AFR-rapport 257, RVF Utveckling, Rapport 99:2, Naturvårdsverket, Stockholm.

RVF. 2000. Hemkompostering av matavfall från hushåll. Förstudie med kartläggning av antalet hushåll som komposterar, problematik m.m. samt förslag till fortsatta studier. RVF, Malmö.

Smårs, S., Gustafsson, L., Beck-Friis, B. & Jönsson, H. 2002. Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. *Biores. Techn.* 84, 237-241.

Personligt meddelande

Hellström, Hanna. 2005. RVF (Svenska Renhållningsverksföreningen), Malmö

Förteckning över samtliga rapporter erhålles kostnadsfritt. I mån av tillgång kan tidigare nummer köpas från avdelningen.

A list of all reports can be obtained free of charge. If available, issues can be bought from the division.

- 190 1992 Christine Jakobsson och Börje Lindén: Kväveeffekter av stallgödsel på lerjordar.
Nitrogen effects of manure on clay soils.
- 191 1992 Magnus Hahlin och Erik Svensson: Radmyllning av NPK till fabrikspotatis. Resultat från försöksserie FK-1290. Samarbetsprojekt mellan Försöksavdelningen för växtnäringsslära och Fabrikspotatis-kommittén.
Placed application of NPK fertilizer to starch potatoes. Results from field experiment project FK-1290.
- 192 1993 Enok Haak: Fältförsök med kalkning av fastmarksjordar i Norrland.
Field experiments with liming of mineral soils in North Sweden.
- 193 1994 Barbro Beck-Friis, Börje Lindén, Håkan Marstorp och Lennart Henriksson: Kväve i mark och grödor i odlingssystem med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland.
Nitrogen in soil and crops in cropping systems with catch crops. Studies on a sand soil in Halland in south-west Sweden.
- 194 1994 Enok Haak, Börje Lindén & Per Johan Persson: Kväveflöden i olika odlingssystem. Försök på Lanna, Skaraborgs län.
Nitrogen flow in different cultivation systems. A field experiment at Lanna Research Station in south-west Sweden.
- 195 1995 Käll Carlgren & Jan Persson: Fält-, kärl- och laboratorie-undersökningar med Fosforkalk från Karlshamn.
Field, Pot and Laboratory Experiments with Phosforkalk from Karlshamn Ltd.
- 196 1995 Lennart Mattsson: Skördevariationer inom enskilda fält. Storlek och tänkbara orsaker.
Yield variations within individual fields. Magnitude and possible reasons.
- 197 1996 Käll Carlgren: Två fältförsök med jämförelse mellan konventionell och ekologisk fosforgödsling.
Two Field Experiments with Comparison between Conventional and Ecological Phosphorus Fertilization.

- 198 1997 Enok Haak & Gyula Simán: Effekter av kalkning och NPK-gödsling i sju långvariga försök i fält, 1962-92.
Effects of liming and NPK-fertilization in seven long term field experiments, 1962-92.
- 199 1998 Börje Lindén, Käll Carlgren & Lennart Svensson: Kväveutnyttjande på en sandjord i Halland vid olika sätt att sprida svinflytgödsel till stråsäd.
Nitrogen utilization on a sandy soil after application of pig slurry to cereal crops with different techniques.
- 200 1999 Enok Haak: Vädrets och kvävegödslingens inverkan på växtproduktion och näringsupptag i bördighetsförsöket R3-9008, 1985-1992.
Influence of weather and N-fertilization on DM-yield and nutrient uptake in the fertility experiment R3-9008, 1985-1992.
- 201 1999 Lennart Mattsson: Mullhalt och kväve mineralisering i åkermark.
Soil organic matter and N mineralization in arable land
- 202 2001 Lennart Mattsson, Thomas Börjesson, Kjell Ivarsson & Kjell Gustafsson. Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödsling.
Extended interpretation of labile P for soil and yield related P fertilization.
- 203 2003 Käll Carlgren: Länsförsök med koppargödsling 1971-73.
Regional field experiments with copper fertilization 1971-73.
- 204 2003 Jan Persson & Käll Carlgren: Långsiktig verkan hos markens kopparförråd.
Long-term copper maintenance.
- 205 2003 Lennart Mattsson: Växtnäring, produktion och miljö
Plant nutrients, production and environment.
- 206 2003 Lennart Mattsson: Kvävebalans i korn och höstvetete.
Nitrogen balance in barley and winter wheat.
- 207 2003 Jan Persson: Kväveförluster och kvävehushållning. Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk. Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet.
Nitrogen losses and N management. Possible improvements in agriculture. Short term and long term soil biological processes with special regard to nitrogen.
- 208 2004 Käll Carlgren & Holger Kirchmann, red. /eds./: Växtnäringsförsörjningen i ekologisk odling. Föredrag hållna 4 mars 2004 på Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien.
Plant Nutrient Support in Organic Farming. Lectures held on 4 March 2004 at the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry.

- 209 2004 Lennart Mattsson: Kväveintensitet i höstveten vid olika förutsättningar.
Nitrogen fertilization in winter wheat.
- 210 2005 Lennart Mattsson & Hans Larsson: Att föra bort eller bruka ner halmen
påverkar mullhalt, daggmaskar och skadedjur. Undersökningar i lång-
liggande försök i Skåne.
*To remove or to incorporate straw affects organic matter, earth-worms
and pests. Studies in three long-term field experiments.*
- 211 2005 Käll Carlgren & Holger Kirchmann, red. /eds./: Nya metoder för återcirkulation
av växtnäringsämnen från avfall. Föredrag hållna på Kungl. Skogs-
och lantbruksakademien 3 mars 2005.
*New Methods for Recirculation of Plant Nutrients from Wastes. Lectures
held on 3 March 2005 at the Royal Swedish Academy of Agriculture and
Forestry.*

I denna serie publiceras
forsknings- och försöksresultat
från avdelningen för
växtnäringslära, Sveriges
lantbruksuniversitet. Serien finns
tillgänglig vid avdelningen och
kan beställas därifrån.

This series contains reports of
research and field experiments
from the Division of Soil Fertil-
ity, Swedish University of Agri-
cultural Sciences. The series can
be ordered from the Division of
Soil Fertility.

DISTRIBUTION:

**Sveriges lantbruksuniversitet
Avd. för växtnäringslära**

**750 07 UPPSALA
Tel 018-671249**
